

УДК 621.98.044: 629.7 +620.17 +620. 22-4

**М. Е. ТАРАНЕНКО****СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ КАЧЕСТВА АВТОКУЗОВНЫХ ЛИСТОВЫХ ДЕТАЛЕЙ**

В статье предложена концепция совершенствования качества изготовления крупногабаритных листовых автокузовных деталей на основе минимизации уровня и равномерного распределения по поверхности пластических деформаций указано, что это снижает уровень остаточных упругих напряжений и определяемую им величину коробления (пружинения) детали. Показано, что снижение уровня и более равномерное распределение по поверхности пластических упругих деформаций может быть достигнуто с соблюдением показателей технологичности и импульсным характером нагружения заготовки при штамповке. Оценен диапазон стабильности параметров, определяющих стабильность амплитудно-частотных характеристик нагружающих импульсов.

**Ключевые слова:** коробление листовой детали, технологичность конструкции, электрогидравлический разряд, электрод, импульсы давления, ток и напряжения.

**М. Є. ТАРАНЕНКО****УДОСКОНАЛЕННЯ ЯКОСТІ АВТОКУЗОВНИХ ЛИСТОВИХ ДЕТАЛЕЙ**

В статті пропонується концепція підвищення якості виготовлення великогабаритних листових автокузовних деталей на основі мінімізації рівня та рівномірного розподілу по поверхні пластичних деформацій вказує, що це знижує рівень залишкових еластичних напружень, який визначає величину короблення (пружинення) деталі. Показано, що зниження рівня та більш рівномірний розподіл по поверхні пластичних еластичних деформацій може бути досягнуто за допомогою дотримання показників технологічності та імпульсного характеру завантаження заготовки при штампуванні. Оцінено діапазон стабільності параметрів, що визначають стабільність амплітудно-частотних характеристик навантажувальних імпульсів.

**Ключові слова:** короблення листової деталі, технологічна конструкція, електрогидравлічний розряд, електрод, імпульси тиску, струм та напруга.

**М. Е. TARANENKO****QUALITY PERFECTION OF CAR-BODY SHEET ARTICLES**

In this paper, the author has shown that the reduction of warping (the inevitable technological legacy) contributes to taking into account the peculiarities of the form-changing process. First of all, this includes the need for deformation without localization of deformation in certain parts of the part and the application of deforming efforts with a specific frequency for each material to create plasticity waves in the deformable material. In modern stamping engineering there is a problem of increasing the accuracy of the geometric shapes of sheet metal parts and improving their functional properties by reducing the irregularity of their thickness (thinning). In many ways, this problem is due to the wider use of new strain-hardening sheet materials, the application of the traditional approach to their design, to a small extent taking into account the features of new methods of forming, for example, pulsed (electro-hydraulic, explosive) punching. Improving the quality of automotive body-sized large parts, determined by a decrease in their distortion, can and should be carried out in a complex way: when designing parts, it is necessary to take into account the features of the proposed manufacturing method or, otherwise, adhere to the indicators of the technological effectiveness of the design to a particular manufacturing method; For the manufacture of such parts, it is necessary to choose newer methods that reduce harmful technological heredity through their functionality. In particular, this corresponds to pulse shaping methods. Their consecutive local deformation is proposed. In this case, in a certain central region of the cavity, a local zone is formed with a minimum thinning in its center and a gradual decrease

**Keywords:** warping of sheet article, structural manufacturability, electrohydraulic discharge, electrode, impulses of pressure, current and voltage.

**Введение.** В современном штамповочном машиностроении стоит проблема повышения точности геометрических форм листовых деталей и улучшения их функциональных свойств путем снижения неравномерности их толщин (утонений). Во многом эта проблема обусловлена более широким применением новых деформационно-упрочняющих листовых материалов, применением традиционного подхода к их проектированию, в малой степени учитывающих особенности новых методов формообразования, например, импульсной (электрогидравлической, взрывной) отштамповки.

**Целью работы** является анализ причин возникновения недостатков и предложения путей их устранения.

**Основная часть.** В работе автора [1] показано, что разному снижению коробления (пружинения) – как неизбежного технологического наследия, способствует учет особенностей процесса формоизменения. В первую очередь к этому относится необходимость деформирования без локализации

деформации утонения на отдельных участках детали и приложения деформирующих усилий с определенной для каждого материала частотой для создания в деформируемом материале волн пластичности.

Эффективность учета второй особенности подтверждена на практике. Известны работы В. П. Северденко, например [2], в которой показано, что наложение УЗ-колебаний с частотой 16...20 кГц на деформируемую заготовку при вытяжке приводит к заметному снижению деформирующего усилия, увеличивает возможную степень деформации, уменьшает остаточные напряжения. Такие же эффекты наблюдаются и при волочении с наложением вибрации [3]. При электро-гидравлической (ЭГ)-обработке нагружающие усилия прикладывается в виде пакета волн определенной частоты, положительные эффекты повышения пластичности и релаксации остаточных напряжений проявляется ярко [4, 5, 6]. Но возможности снижения коробления листовых деталей путем уменьшения локализации утонения изучены не полностью.

Рассмотрим несколько типовых конструкций деталей автокузовов современных легковых машин (рис. 1).

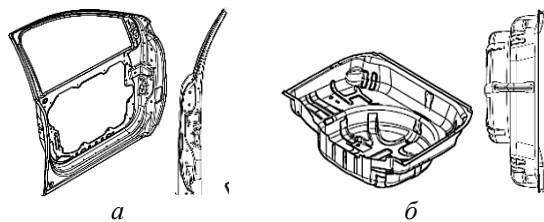


Рис. 1 – Изображения: а – внутренней панели двери; б – участка пола багажника автомобиля)

Это относительно плоские детали, размерами 1200×90 мм с глубокими полостями в центре. Сечения

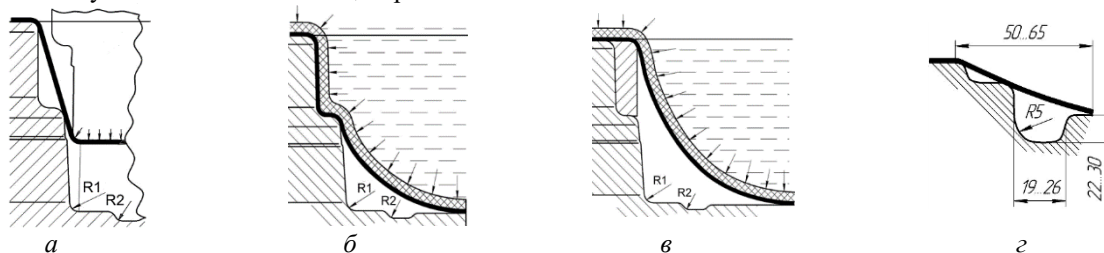


Рис. 2 – Промежуточные положения заготовки детали: а – формирование ступеньки пуансоном в матрице; б – при заполнении донного радиуса; в – при заполнении донного радиуса с использованием дополнительной вставки; г – при формообразовании рифта на фланце

При втягивании заготовки в матрицу пуансоном (рис. 2, а) она соприкасается с матрицей только на участках входного (перетяжного) радиуса матрицы и небольшого участка радиуса ступени борта. Это минимизирует силы трения и позволяет успешно втягивать фланцевые участки заготовки в полость матрицы. Во втором случае (рис 2, б) на всю поверхность заготовки действует высокое давление, заставляющее заготовку прижиматься к матрице по двум радиусам и всей поверхности ступени борта. Это резко увеличивает трение и, в большей мере, препятствует поступлению материала фланцевой части. При достижении заготовкой дна матрицы силами трения блокируется поступление материала из центральной зоны полости. Это приводит к тому, что оформление донного радиуса полости происходит только путем растяжения провисающего участка заготовки, что определяет значительные деформации утонения в районе донного радиуса и повышенные затраты энергии (увеличения давления) для формообразования этого радиуса.

Для устранения их нежелательных явлений предлагается на предварительных этапах формообразования детали устанавливать на ступень борта технологическую вставку (рис. 2, в), на дно полости устанавливать технологическую подкладку (на рис. 2, в не показана), которые удаляются на этапах калибровки детали.

бортов полостей ступенчатое, а фланцевая часть детали имеет сложную форму сечения или ступенчатую подсежку.

Такая форма обусловлена функциональным назначением детали и предполагает ее изготовление с применением пуансона и матрицы. Можно считать, что она технологична для такой системы штамповки.

В современном автокузовном производстве по ряду причин все шире начинают использоваться методы штамповки жидкой или эластичной средой (статические и импульсные). При этом промежуточное положение заготовки относительно оснастки несколько изменяется по сравнению с аналогичным положением традиционного способа (рис. 2).

Таковыми действиями достигается равномерное распределение деформаций утонения вдоль поверхности детали.

Для формообразования больших по размерам полостей детали с более равномерным и, следовательно, меньшими значениями деформаций утонения (без их локализации в центральной области полости). Предлагается их последовательное локальное деформирование. В этом случае, в некоторой центральной области полости формообразуется локальная выштамповка с минимальным утонением в ее центре и плавным уменьшением таких деформаций к периферии

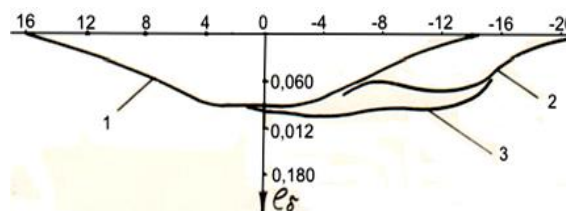


Рис. 3 – Последовательность измерения формы и распределение относительных утонений при трехкратном локальном нагружении листовой заготовки

выштамповки (рис. 3, контур 1). Затем с определенным шагом по радиусу полости формируется последующие выштамповки (рис. 3, контур 2 и 3). При этом разности

утолщений в центрах первой и последующих выштамповок.

Между этими двумя выштамповками может образовываться участок поверхности детали с обратной кривизной (нечто похожее на начальную стадию складки). В этом случае последующую выштамповку формируют в зоне учета с обратной кривизной.

Повторяя названную последовательность деформирования формообразуют полость детали с меньшими по величине и равномерными по плоскости утонениями всей центральной полости детали.

Положительные результаты экспериментальной проверки указанной последовательности формообразования разных по форме и назначению деталей приведены в работе [7].

Техническая возможность последовательного локального нагружения обеспечивается применением ЭГ-прессов с пространственно-временным управлением нагружения.

Импульсный временный характер нагружения листовой заготовки на таких прессах задается управлением амплитудно-частотными параметрами как отдельного импульса, так и временем создания параллельных импульсов на соседних разрядных контурах многоэлектродных ЭГ-установок. Необходимость управления амплитудно-частотными характеристиками (АЧХ) силового нагружения диктуется потребностью соблюдения частоты волн деформаций характерных для каждого штампуемого материала. Определение этих частот отдельная задача. Которая может решаться, например, методом, изложенным в работе [8].

Стабильность АЧХ ЭГ-разряда определяется конструкцией разрядной камеры и разрядной частью рабочего электрода, электропроводностью воды, а также рядом характеристик разрядного контура. В рамках научно-исследовательских работ по проекту Р 326 с Украинским научно-техническим центром (УНТЦ) были проведены исследования о влиянии формы разрядной поверхности рабочего электрода на стабильность режимов разрядов. Для этого испытывались разные конструкции законцовок центрального токопроводящего стержня рабочего электрода. Две формы законцовки из испытываемого ряда показаны на рис. 4. Стабильность АЧХ оценивались по следующим параметрам:

- относительной величине падения разрядного тока к разрядному напряжению;
- относительной длительности 1 и 2 разрядного тока;
- относительной длительности предразрядной стадии;
- среднему значению серии (при повторении эксперимента) амплитудного значения, развиваемого на преграде давления;
- среднему значению, передаваемому преграде импульсу давления и ряду других параметров.

Можно отметить, что при увеличении разрядной кромки электрода несколько возрастают потери

энергии на предразрядной стадии (со значений 0,04...0,1 до значения 0,12 после 500 разрядов). Изменения относительных параметров разрядного тока практически не наблюдается (о чем свидетельствуют наложенные осциллограммы тока. Отношение длительностей полупериодов тока практически не наблюдается после 2000 разрядов. Этот параметр в первую очередь характеризует частотные характеристики разряда. Общая длительность сигнала давления около 292 мкс и этот сигнал состоит из 2-3 токов. Т. е. средняя длительность пика давления 90...150 мкс. А эти значения находятся в рамках диапазона периодов релаксации остаточных напряжений для многих марок штампуемых материалов.

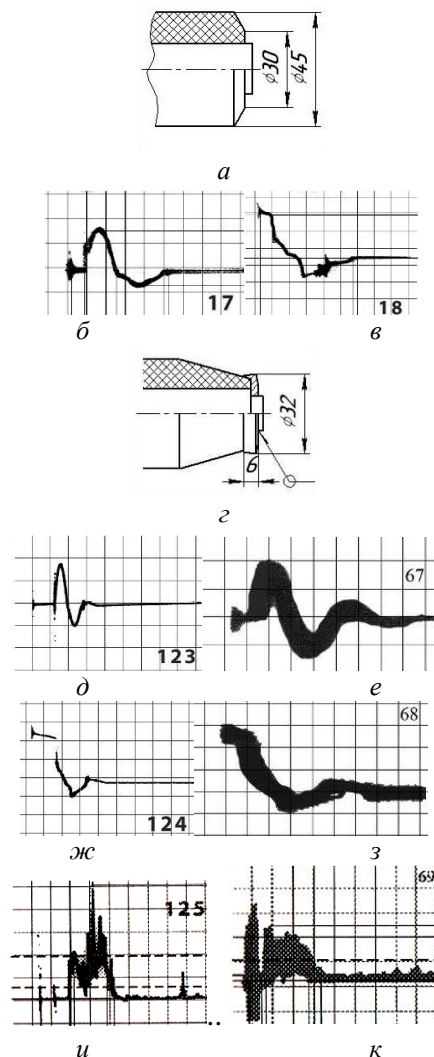


Рис. 4 – Сравнение стабильности режимов разрядов в зависимости от: а, з – формы законцовок; б, д, ж, и – центрального токопроводящего стержня электрода; в, е, з, к – осциллограммы разрядных тока и напряжения при первых разрядах и на этапах эксплуатации (30 разрядов)

Доли нестабильности режимов разряда, обусловленные электрической эрозией разрядных кромок и изменением электрических характеристик воды в течение серий разрядов снижаются путем периодической перезаточки кромок и проведением

ЭГ-разрядов в постоянно сменяемой воде с последующим ее «отдыхом» и повторным использованием.

**Выводы.** Совершенствование качества автокузовных крупногабаритных деталей, определяемое уменьшением их коробления можно и нужно осуществлять комплексно. А именно:

- при проектировании деталей надо учитывать особенности предлагаемого метода изготовления или, иначе, придерживаться показателей технологичности конструкции к тому или иному методу изготовления;
- для изготовления таких деталей надо выбирать более новые методы, которые позволяют уменьшить вредную технологическую наследственность через их функциональные возможности. В частности, этому соответствуют импульсные методы формообразования.

Безусловно, повышение качества деталей требует определенных финансовых затрат, но соответствует общемировой тенденции.

#### Список литературы

1. Тараненко, М. Е. Метод снижения коробления листоштампованных деталей [Текст] / М. Е. Тараненко // Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов, – Краматорск : ДГМА, № 1 (46), 2018. – С. 100–104.
2. Северденко, В. П. Листовая штамповка с ультразвуком [Текст] / В. П. Северденко, В. С. Пашенко, Б. С. Кособуцкий // – Минск : Наука и техника, 1975, – 192 с.
3. Дидык, Р. П. Анализ влияния динамики нагружения на деформационное поведение металлов и их сплавов в пластической области [Текст] / Р. П. Дидык, Е. В. Кузнецов // Доклады НАН Украины, 2008, № 1, – С. 49–55.
4. Мериин, Б. В. Эффективность электрогидравлической правки нежестких деталей при разных условиях нагружения [Текст] / Б. В. Мериин, И. Ф. Корнет, Д. Е. Савулькин // КШП, 1990, № 10, – С. 13–15.
5. Старков, Н. В. Экспериментальное исследование пластичности конструкционных алюминиевых сплавов при импульсном гидравлическом нагружении [Текст] / Н. В. Старков, В. М. Косенков, Д. Р. Аврамец // КШП. Обработка металлов давлением, 2008, № 5, – С. 3–7.
6. Тараненко, М. Е. Изготовление высокоточных зеркал систем космической связи [Текст] / М. Е. Тараненко // КШП, 1998, № 11, – С. 33 – 35.
7. Тараненко, М. Е. Электрогидравлическая штамповка: теория, оборудование, техпроцессы : монография : в 2 ч. [Текст] / М. Е. Тараненко. – Х. : Нац. аэрокосм. ун-т им. Н. Е. Жуковского «ХАИ», 2011. – 273 с.
8. Косенков, В. М. Метод определения реологических и энергетических характеристик ударного сжатия металлов [Текст] / В. М. Косенков, В. М. Бычков // ПМТФ, 2012, Т53, № 6, – С. 134–143.

#### References (transliterated)

1. Taranenko, M. E. Metod snyzhenyya koroblenyya lystoshtampovannykh detalej [Method of warping reduction of sheet metal forming articles] // Obrabotka materyalov davlenym : sb. nauch. trudov, – Kramatorsk. Publ., 2018, No. 1 (46). – pp. 100–104.
2. Severdenko, V. P., Pashhenko, V. S., Kosobuczkyj, B. S. Lystovaya shtampovka s ultrazvukom [Sheet metal forming by ultrasound]. – Mynsk. Publ., 1975. 192 p.
3. Dydyk, R. P., Kuznecov, E. V. Analiz vliyanyya dynamyky nagruzhennyya na deformacyonnoye povedeniye metallov y yx spлавov v plastycheskoj oblasti [Analysis of loading dynamics influence on deformable behavior of metals and their alloys in plasticity region] // Doklady NAN Ukrainy. Publ., 2008, No. 1, – pp. 49–55.
4. Meryyn, B. V., Kornet, Y. F., Savulky, D. E. Effektyvnost elektrogidravlycheskoj pravky nezhystrykh detalej pry raznykh uslovyiyax nagruzhennyya [Efficiency of electro-hydraulic correction of low-rigidity articles at variable loading conditions]. – Moscow. Publ., No. 10, – pp. 13–15.
5. Starkov, N. V., Kosenkov, V. M., Avramecz, D. R. Eksperymentalnoye yssledovaniye plastychnosti konstrukcyonnykh alyumynnyevykh spлавov pry ymпульсном gydravlycheskom nagruzhennyy [Experimental studies of structural aluminum alloys plasticity at impulse hydraulic loading]. Moscow. Publ. KShP, Obrabotka metallov davlenym, 2008, No. 5, pp. 3–7.
6. Taranenko, M. E. Yzgotovleniye vysokotochnykh zerkal sistem kosmycheskoj svyazy [Manufacturing of high-precision mirrors of space communication]. Moscow. Publ., KShP, 1998, No. 11, pp. 33–35.
7. Taranenko, M. E. Elektrogidravlycheskaya shtampovka: teoriyya, oborudovaniye, texprocessy : [Electrohydraulic forming: theory, equipment, manufacturing processes] / M. E. Taranenko. Kharkiv. Publ., National Aerospace University “KhAI”, 2011. 273 p.
8. Kosenkov, V. M., Bychkov, V. M. Metod opredeleniyya reologicheskikh y energeticheskikh kharakterystyk udarnogo szhatyya metallov [Method of determination of rheological and energy characteristics of impact metal compression]. PMTF, 2012, No. 53, Vol. 6, pp. 134–143.

Получена (received) 14.11.2018

#### Відомості про авторів / Сведения об авторах / About the Author

**Тараненко Михайл Євгенєвич (Тараненко Михайло Євєнович, Mykhaylo Taranenko)** – доктор технічних наук, професор, Національний аерокосмічний університет ім. Н. Е. Жуковського «Харківський авіаційний інститут», г. Харків, тел.: (057) 788-41-70, e-mail: m.taranenko@khai.edu